

## طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن مایکرواستریپ موج میلیمتری باند $k/ku$ جهت کاربرد ماهواره

فرزاد ثابتی

کارشناسی ارشد، برق-مخابرات، میدان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

### چکیده

هدف اصلی از پژوهش حاضر طراحی، شبیه سازی و ساخت یک آنتن مایکرواستریپ موج میلیمتری در باند  $k/ku$  برای کاربردهای ماهواره ای می باشد روش ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده ها در این پژوهش ۱. شبیه سازی آنتن پیشنهادی ۲-مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج اندازه گیری شده خواهد بود و طراحی ، شبیه سازی و ساخت. در سال های اخیر، برای توسعه (رواج) آنتن های کم هزینه، وزن کمینه (کم وزن)، دارای برش عرضی (مقطع) پایین، که توانایی نگهداری عملکرد روی طیف وسیعی از فرکانس ها را دارند. روند رایجی در سیستم های ارتباط تجاری و دولت وجود دارد این روند تکنولوژیکی بر تلاش زیاد برای طراحی آنتن های مایکرواستریپ (پچ) تمرکز دارد که در این پژوهش به صورت کامل تر خواهیم پرداخت.

**واژه های کلیدی:** شبیه سازی ، ساخت ، آنتن مایکرواستریپ، موج میلیمتری، دریاند.

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر، برای توسعه (رواج) آنتن های کم هزینه، وزن کمینه (کم وزن)، دارای برش عرضی (مقطع) پایین، که توانایی نگهداری عملکرد روی طیف وسیعی از فرکانس ها را دارند. روند رایجی در سیستم های ارتباط تجاری و دولت وجود دارد این روند تکنولوژیکی بر تلاش زیاد برای طراحی آنتن های میکرواستریپ (پیچ) تمرکز دارد. با یک هندسه ساده، آنتن های پیچ مزیت های بسیاری را از خود نشان می دهند که معمولا در ساختار های (پیکربندی های) هیچ آنتن دیگر نشان داده نشده است. برای نمونه آنها بشدت دارای برش عرضی (مقطع) پایین، سبک وزن، ساده و ارزان می باشند و برای تولید و ایجاد تکنولوژی تخته مدار چاپی که امروزه مورد استفاده است قرار می گیرند؛ با میکروویو (ریز موج) و مدار های میلیمتری یکپارچه شده موج سازگارند؛ و توانایی مطابقت با سطوح مسطح و غیرمسطح را دارند. علاوه بر این هرگاه شکل و مد عملکرد پیچ انتخاب شده هستند. طرح ها بر حسب عملکرد فرکانس، قطبیدگی، الگو، امپدانس (مقاومت ظاهری الکتریسیته) بسیار انعطاف پذیر می شوند. تنوع در طراحی که در جهت آنتن های میکرواستریپ امکانپذیر است، احتمالا از هر نوع دیگر عنصر آنتن تخطی می کند. آنتن های میکرواستریپ به علت ویژگیهای مفیدشان از جمله وزن ریزبافتهای کم و کوتاه به صورت گسترده در ماهواره های مخابراتی استفاده میشوند. امروزه، آنتنهای میکرواستریپ به خاطر خواص فیزیکی و الکترومغناطیسی ویژه مانند فشردن سازی، بکارگیری چند باند فرکانسی، طراحی و ساخت راحت، هزینه ساخت کم و... کاربردهای متنوعی دارند. یکی از این کاربردها در ارتباطات ماهواره ای به عنوان فرستنده و گیرنده است، چه در بخش زمینی مانند گیرنده های GPS و چه در بخش فضایی، بر روی ماهواره ها.

در این تحقیق یک آنتن میکرواستریپ موج میلیمتری در باند  $k/ku$  برای کاربردهای ماهواره ای، به باند های ۲ طرفه آنتن های میکرواستریپ PLANER که میتواند در ماهواره های مخابراتی ویژه ی ارتباطات WIRELESS در باند های KU/K BAND استفاده شود پرداخته می شود. عملکرد این آنتن بر روی زیر لایه های از جنس پلاستیک منتشر میشود. برای ارسال و دریافت به محدوده فرکانسی ذیل میپردازیم:

باند کی یو (Ku): از ۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباطات تجاری (از ۱۲/۵ تا ۱۸ گیگاهرتز در ایالات متحده)

باند کی (K): از ۱۸ تا ۲۷ گیگاهرتز، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباطات تجاری (از ۱۸ تا ۲۶/۵ گیگاهرتز در ایالات متحده)

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش:

## آنتن:

آنتن از یک سیم مستقیم تشکیل شده است که اگر در فرستنده به کار رود، امواج فرستنده را به امواج الکترومغناطیس تبدیل نموده و پخش می نماید و اگر در گیرنده به کار رود، امواج الکترومغناطیسی موجود در فضا را دریافت نموده و تبدیل به امواج الکتریکی نموده و جهت آشکار شدن، به مدار گیرنده می دهد. معمولا در گیرنده ها هر آنتن به ازاء یک فرکانس مشخصی، به تشدید درآمده و به ازاء آن فرکانس، ولتاژ ماکزیمم مشخصی تولید می نماید. هرگاه طول آنتن متناسب با طول موج دریافتی باشد، موج کاملا در آنتن قرار می گیرد و اصطلاحا می گویند آنتن رزنانس شده و یا به تشدید در آمده است یعنی آنتن با موج رسیده هماهنگ شده است و در این حالت ولتاژی که به آنتن رسیده، حداکثر است. البته نیازی نیست که طول آنتن حتماً با طول موج رسیده کاملا

برابر باشد، زیرا جهت رفع این مشکل سیم پیچی را به همراه یک یا دو خازن متغیر به آنتن اضافه می کنند تا حالت تشدید را در آنتن بوجود آورند.

### تعریف آنتن های میکرواستریپ

یک آنتن مایکرواستریپ، همان طور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، شامل یک عایق است که در یک طرف آن، صفحه زمین و در طرف دیگر آن، صفحه تشعشعی قرار گرفته است که این صفحه تشعشع کننده هادی، شکل های مختلفی می تواند داشته باشد ولی معمولا شکل هایی مورد استفاده قرار می گیرند که بتوان به راحتی مورد تحلیل قرار داد.

جنس هادی، معمولا مس و طلا انتخاب می شود و جنس لایه عایق معمولا به گونه ای باید باشد که میدان های پراکندگی و تشعشع کننده از لبه های آنتن بیشتر باشد، بنابراین ثابت دی الکتریک باید تا حد امکان کم باشد [3]-[1].

وقتی فرکانس سیگنال به فرکانس تشدید نزدیک می شود، دامنه جریان های سطحی که روی هادی جریان پیدا می کنند اهمیت می یابند و تشدید هنگامی اتفاق می افتد که اندازه هادی به اندازه نصف طول موج برسد. رزوناتورهای میکرواستریپ را می توان به دو دسته اصلی طبقه بندی کرد که بستگی به نسبت طول به عرض آنتن ها دارد.

رزوناتورهایی که هادی آنها باریک است دی پل مایکرواستریپ و رزوناتورهایی که پهن هستند پچ های میکرواستریپ نامیده می شوند. توزیع جریان طولی هر دو نوع آنتن برای مدار اصلی زیاد است، بنابراین پترن و گین آنها مشابه می باشد ولی مشخصات دیگر آنها می تواند با هم تفاوت داشته باشد (از قبیل امیدانس ورودی، لوب های جانبی و پلاریزاسیون).

وقتی فرکانس سیگنال نزدیک فرکانس تشدید باشد، رزوناتور میکرواستریپ، یک بیم گسترده در جهت لبه جانبی<sup>۱</sup> نسبت به صفحه آنتن تشعشع می کند. قسمت عمده سیگنال ورودی در تشعشع شرکت می کند و بنابراین رزوناتور بصورت یک آنتن عمل می کند.

### پارامترهای طراحی آنتن

پارامترهای اساسی در طراحی آنتن مایکرواستریپ می توان به امیدانس ورودی، تلفات بازگشتی<sup>۲</sup>، حداکثر توان قابل تحمل<sup>۳</sup>، الگوی تابشی<sup>۴</sup>، پهنای بیم نیم توان<sup>۵</sup>، پلاریزاسیون اشاره کرد و ملزومات مورد نیاز برای طراحی آنتن به دو دسته ملزومات فیزیکی و تشعشعی دسته بندی می شوند که به ترتیب صفحه ای بودن آنتن و کوچک بودن ابعاد (حداکثر  $1.00 \text{ cm}$ )، گین بالا و خاصیت دوبانده از خصوصیات ملزومات فوق می باشد. پارامترهای طراحی آنتن فوق به صورت زیر می باشند:

• ابعاد آنتن

$$L_g = 2.4 \text{ cm} \quad W_g = 2.4 \text{ cm}$$

• مشخصات زیرلایه

$$\text{Rogers } \epsilon_{rr} \cdot \tan(\theta) = 0.009 \quad \epsilon_r = 2.2 \quad h = 0.22 \text{ cm}$$

<sup>1</sup> Broad side

<sup>2</sup> Return loss

<sup>3</sup> Power Handling

<sup>4</sup> Pattern

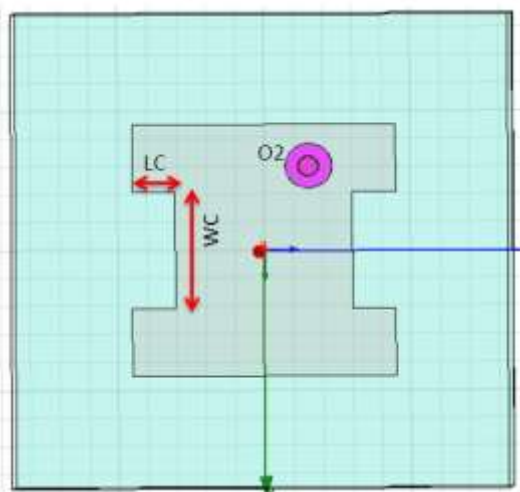
<sup>5</sup> Half Power Beam width

- ابعاد پیچ تشعشع کننده

$$W = 1.8 \text{ cm} \quad L = 1.8 \text{ cm} \quad O_1 = (0.4, 0, 0)$$

### طراحی و شبیه سازی آنتن مایکرواستریپ

در آنتن های مایکرواستریپ امواج سطحی روی سطح زیرلایه به وجود می آیند و باعث اتلاف توان ورودی می شوند و از طرفی دیگر این امواج سطحی به دلیل محدود بودن سطح زیرلایه آنتن از لبه ها پراکنده شده و باعث به وجود آمدن لوپ پشتی می شود [۱ و ۲] یکی از روش های بهبود عملکرد آنتن ها استفاده از ساختار فرکتالی و ایجاد شکاف روی پیچ است که علاوه بر کوچک شدن ابعاد آنتن سبب بهبود پهنای باند و دوبانده کردن آنتن شده است. در این با تغییر طول بازوهای شکاف این قابلیت وجود دارد که نسبت فرکانس تشدید اول به فرکانس تشدید دوم را در محدوده نسبتاً وسیعی تنظیم کرد. شکل (۴-۲) رسم شماتیک ساختار آنتن کوچک شده را نشان می دهد.



شکل ۱: ساختار آنتن کوچک شده

### پارامترهای طراحی آنتن

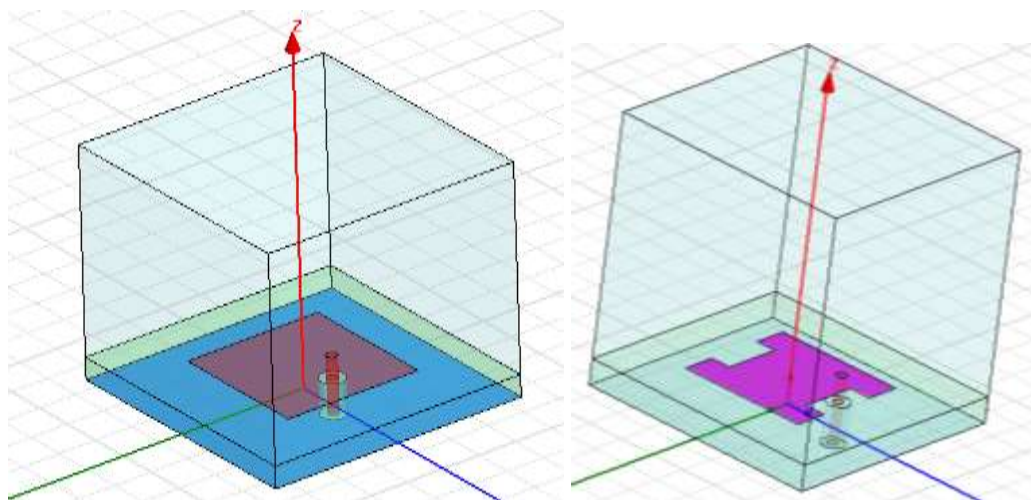
کلید پارامترهای طراحی آنتن کوچک شده همانند آنتن اول می باشد فقط در دو طرف پیچ دو شکاف با ابعاد  $W_c = 0.295 \text{ cm}$ ,  $L_c = 0.84 \text{ cm}$ ,  $O_1 = (0.4, 0, 0)$  ایجاد گردیده است که با تغییر طول بازوهای این شکاف می توان به محدوده وسیعی از نسبت فرکانس اول به فرکانس دوم دست یافت.

### کاهش ابعاد آنتن

سطح اشغالی توسط پیچ مربعی ساده:  $3/24$  سانتیمتر مربع

سطح اشغالی توسط پیچ مربعی کوچک شده:  $2/7444$  سانتیمتر مربع

کاهش سطح اشغالی : ۰/۴۹۵۶ سانتیمترمربع

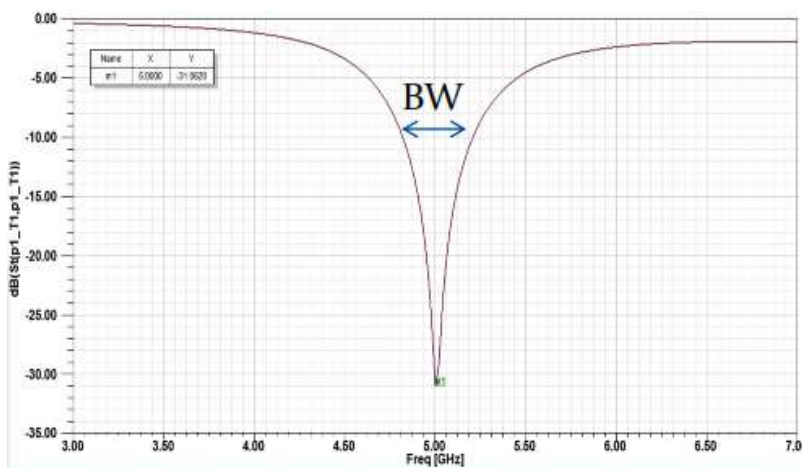


(a) آنتن مایکرواستریپ مربعی (b) آنتن مایکرواستریپ مربعی کوچک شده

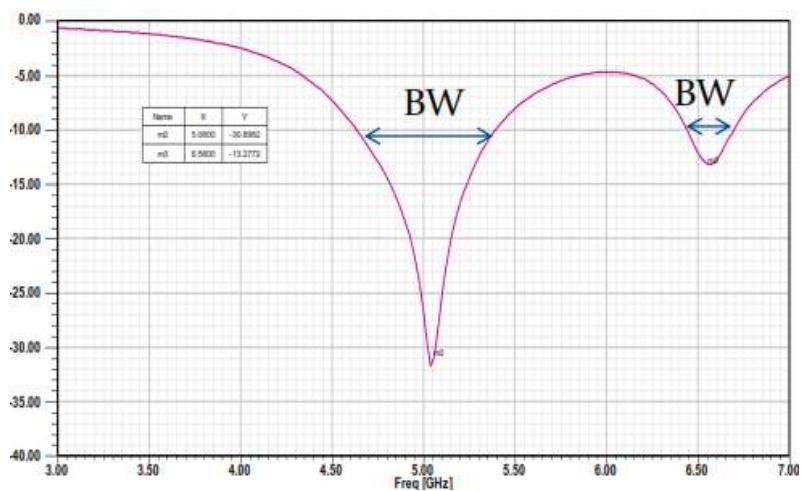
شکل ۲: ساختار دو آنتن

### تحلیل آنتن

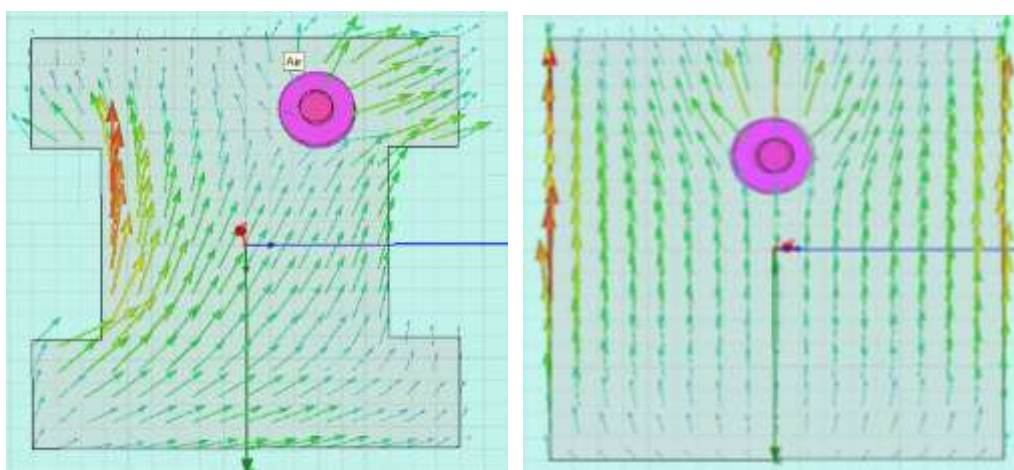
$\epsilon + K$  دارای پهنای باند امپدانسی  $760 \text{ MHz}$  می باشد و در باند دوم با فرکانس مرکزی  $6.56$  دارای پهنای باند امپدانسی  $260 \text{ MHz}$  است که مزیت اصلی این ساختار افزایش تقریباً دوبرابر پهنای باند امپدانسی می باشد.



شکل ۳: تلفات بازگشتی برای آنتن مایکرواستریپ مربعی

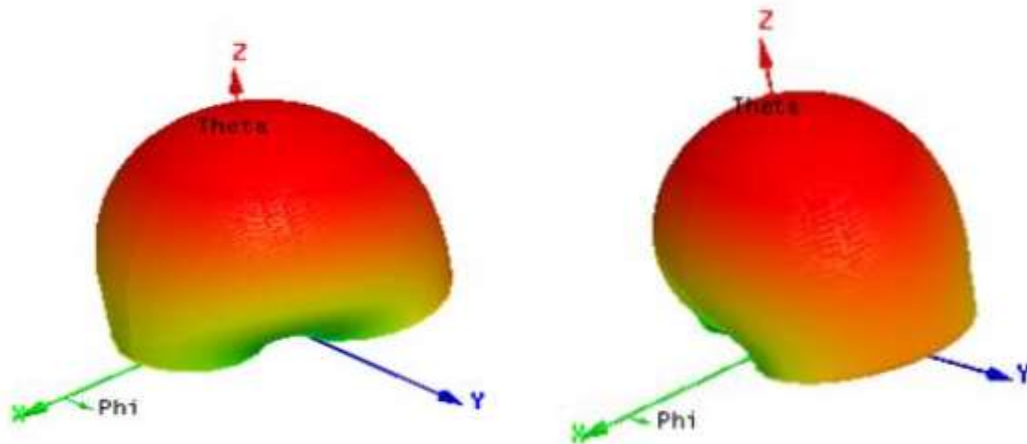


شکل ۴: تلفات بازگشتی آنتن میکرواستریپ کوچک شده



(a) آنتن میکرواستریپ (b) آنتن میکرواستریپ کوچک شده

شکل ۵: توزیع جریان‌ها

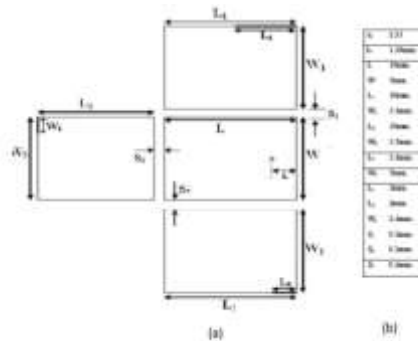


(a) بهره آنتن ساده (b) بهره آنتن کوچک شده

شکل ۶: بهره آنتن‌ها

### شکل آنتن:

شکل آنتن در شکل ۱ نشان داده شده است. طراحی این آنتن شامل یک پیچ مستطیلی با ابعاد  $L, X, W$  می باشد و پیچ مرکزی با المان‌ها پارازیتی نابرابری با ابعاد  $L_1, X, W_1$  و  $L_2, X, W_2$  در راستای دو لبه ی غیر تشعشعی اش با فاصله کوپل شده است. همچنین پیچ مرکزی با المان پارازیتی با ابعاد  $L_3, X, W_3$  در راستای لبه ی تشعشعی اش با فاصله کوپل شده است.



شکل ۷: شکل آنتن ارائه شده b. ابعاد طراحی

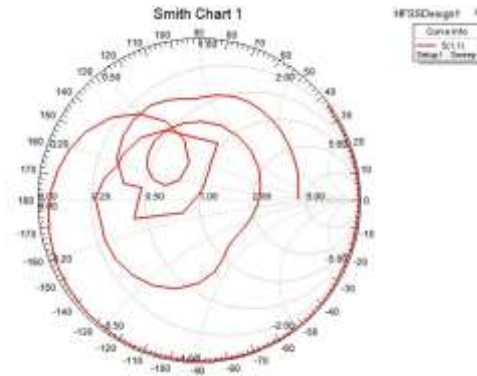
### روش آنالیز:

افزایش قطر زیرلایه باعث ایجاد تشعشع نامطلوب می شود و گذردهی الکتریکی از مقداری محدودی کمتر نمی شود. پس برای رسیدن به پهنای باند بیشتر باید از پیچ های پارازیتی استفاده کنیم.

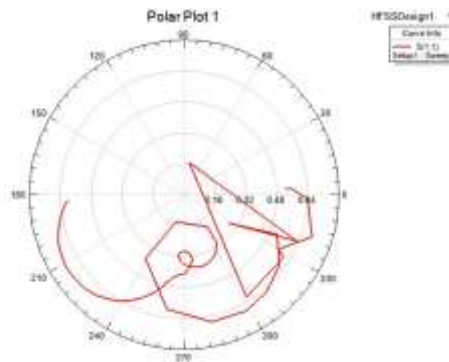
نتایج و تشریح مطالب:

نتایج شبیه سازی برای نمودار اسمیت، نمودار  $VSWR$ ، تلفات بازگشتی و پترن های تشعشعی به ترتیب در شکل های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶(a) تا ۶(f) رسم شده اند. از نمودار  $VSWR$  بر حسب فرکانس می توان دریافت که برای بازه ی گسترده ای از فرکانس  $VSWR$  کمتر از ۲ است که باعث ایجاد پهنای باند گسترده ای می شود. در نمودار تلفات بازگشتی بر حسب فرکانس نیز نتایج مشابه به دست آمده است.

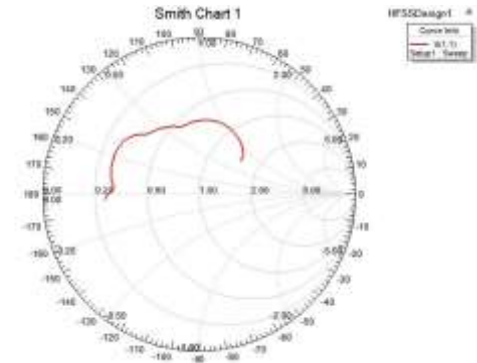
a) freg2-12GHZ



b) freg12-18GHZ



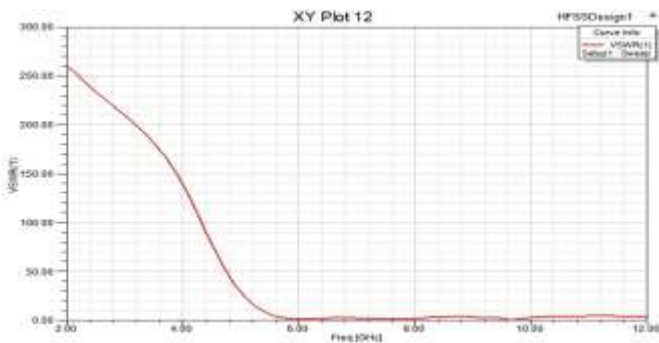
c) freg18-22GHZ



شکل ۸: نمودار اسمیت برای طراحی آنتن

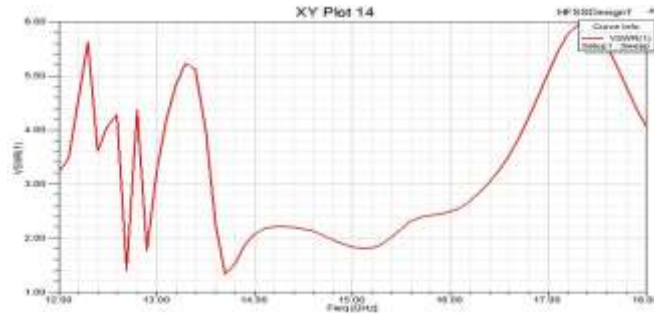
fereg2-12ghz (a), fereg 12-18ghz(b), fereg 18-22ghz(c)

a) freg2-12GHZ

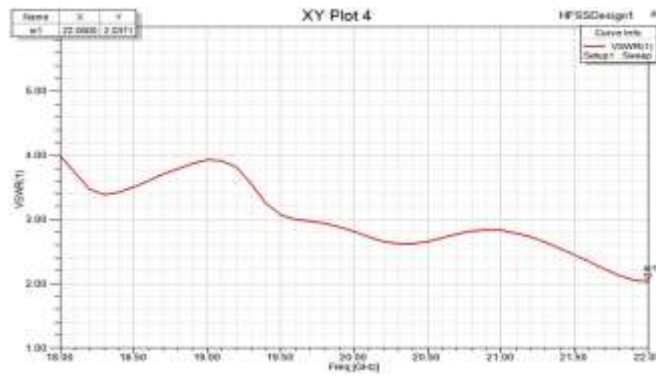


b) freg12-18GHZ

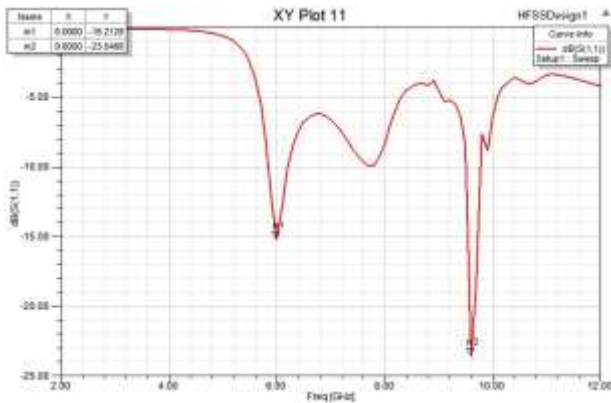




c)18-22GHZ

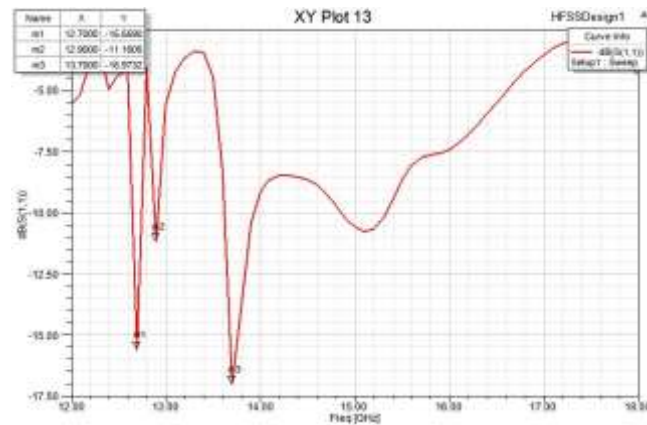


شکل ۹: نمودار VSWR بر حسب فرکانس برای آنتن ارائه شده  
fereg2-12ghz (a), fereg 12-18ghz(b), fereg 18-22ghz(c)

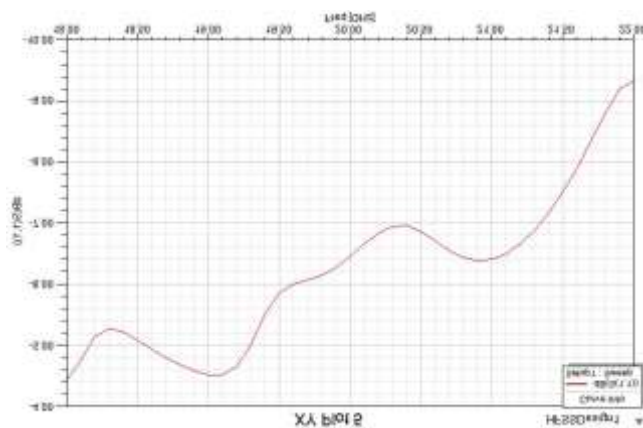


a)freg2-12GHZ

c)freg18  
-  
22GHZ

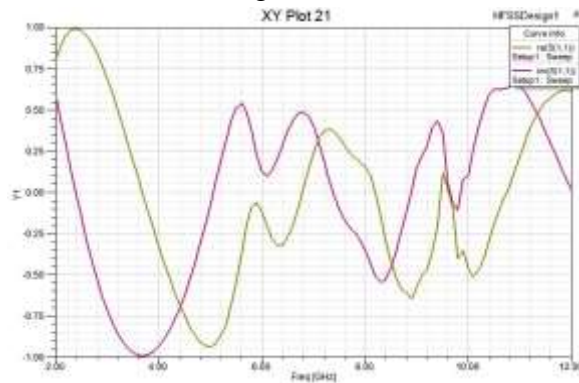


b)freg12-18GHZ

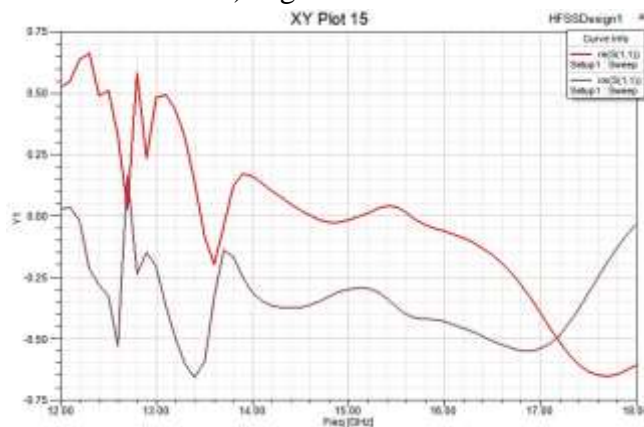


شکل ۱۰: نمودار تلفات بازگشتی بر حسب فرکانس برای آنتن ارائه شده  
fereg2-12ghz (a), fereg 12-18ghz(b), fereg 18-22ghz(c)

a) fereg2-12 GHZ



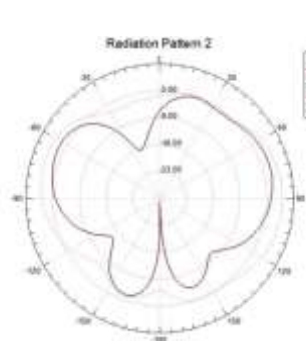
b) fereg12-18 GHZ



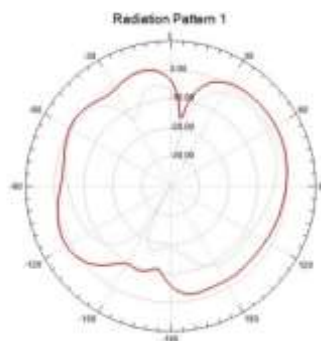
c) fereg18-22 GHZ



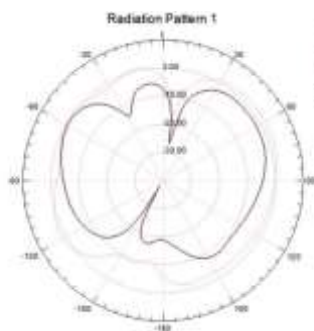
شکل ۱۱: نمودار بخش حقیقی و بخش موهومی امپدانس ورودی برای آنتن ارائه  
 fereg2-12ghz (a), fereg 12-18ghz(b), fereg 18-22ghz(c) .



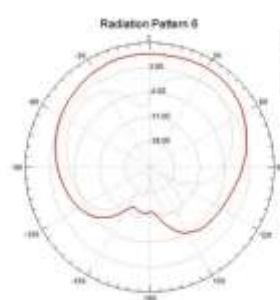
$\Phi = 0^\circ$ , fereg ۱۲ghz



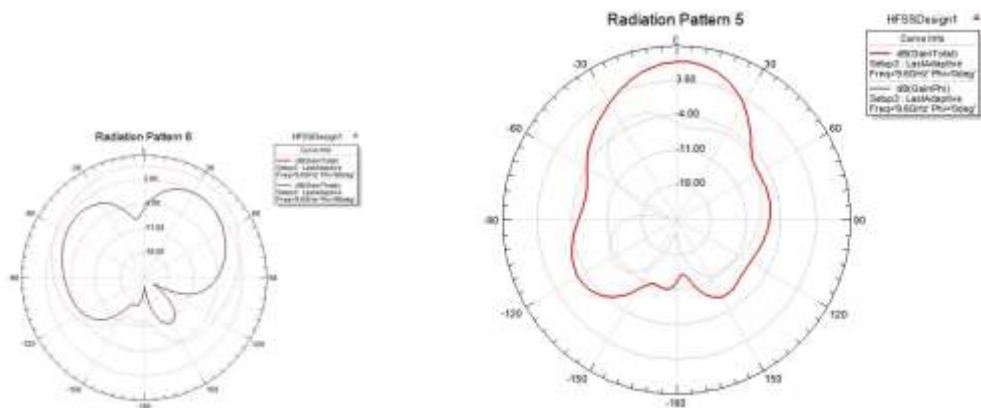
$\Phi = 90^\circ$ , fereg ۱۲ ghz



$\Phi = 0^\circ$ , fereg 9.۶ ghz

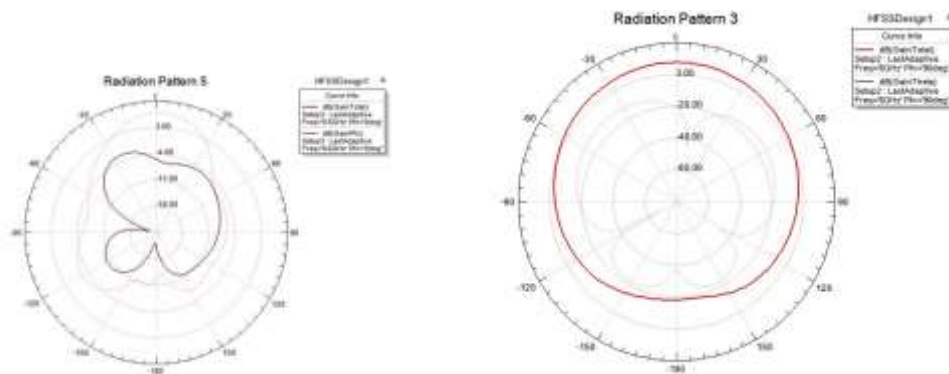


$\Phi = 90^\circ$ , fereg 12 ghz



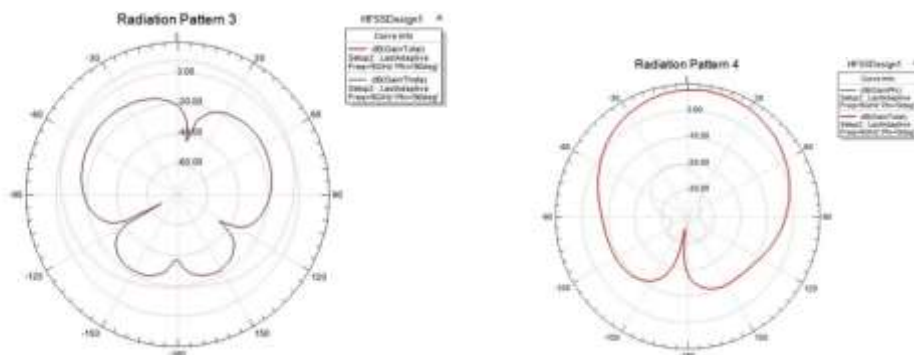
$\Phi = 0^\circ, f_{\text{freq}} 9.6 \text{ ghz}$

$\Phi = 90^\circ, f_{\text{freq}} 9.6 \text{ ghz}$



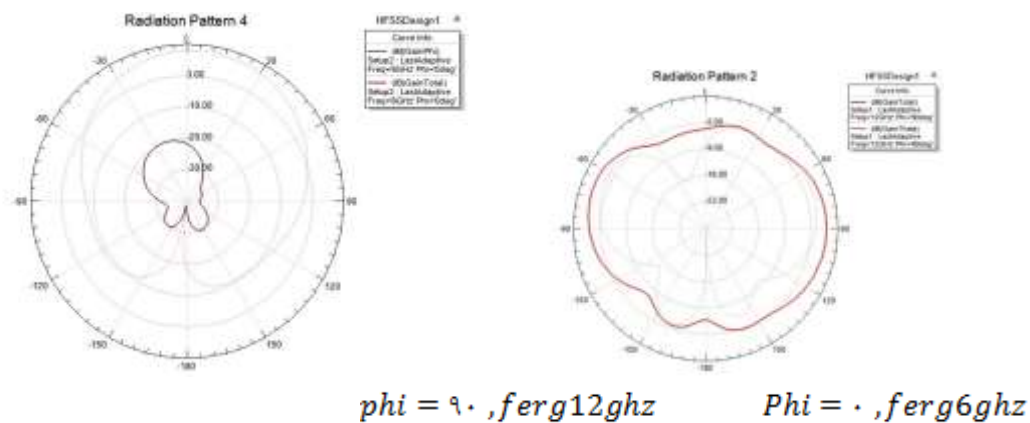
$\Phi = 0^\circ, f_{\text{freq}} 6 \text{ ghz}$

$\Phi = 90^\circ, f_{\text{freq}} 9.6 \text{ ghz}$

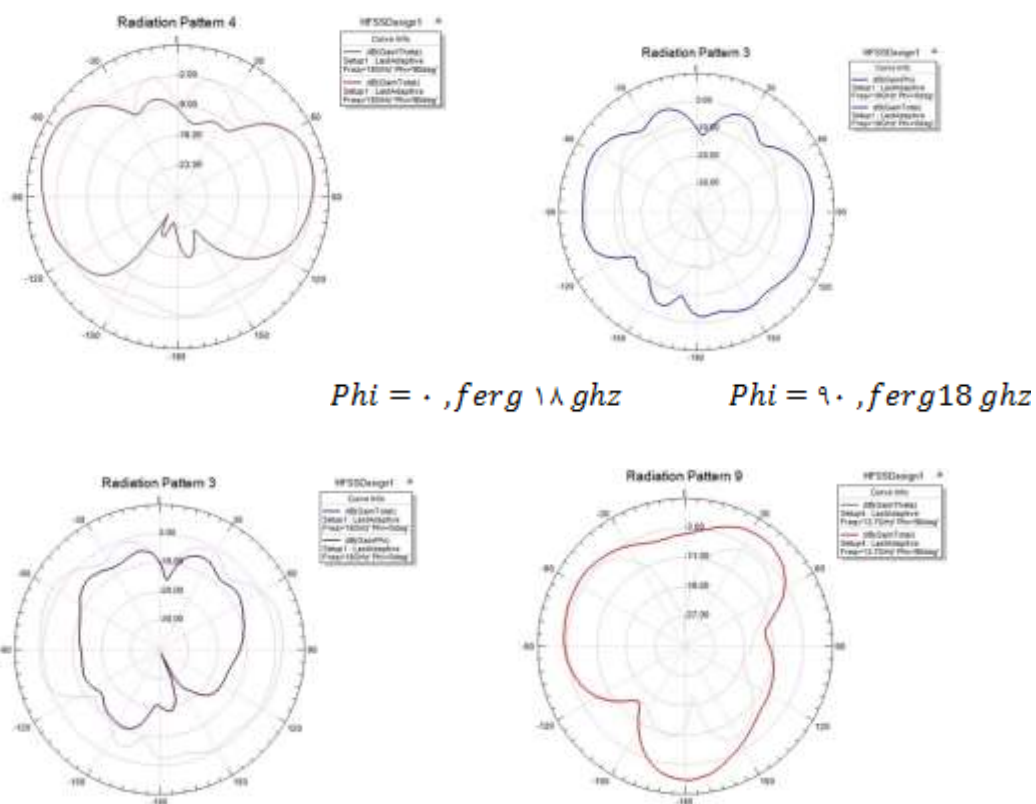


$\Phi = 0^\circ, f_{\text{freq}} 6 \text{ ghz}$

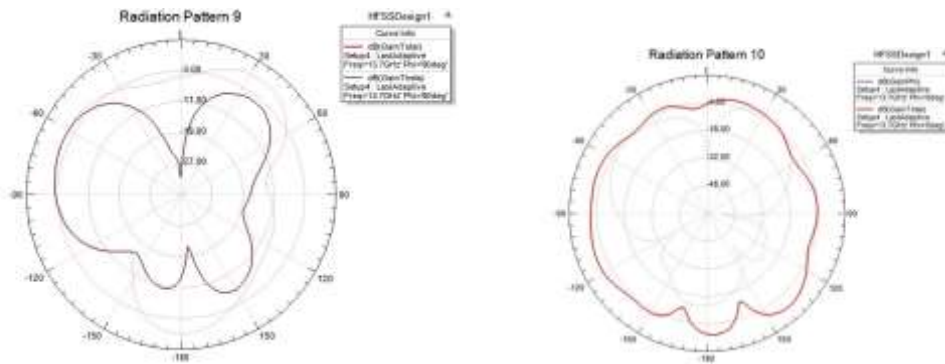
$\Phi = 90^\circ, f_{\text{freq}} 6 \text{ ghz}$



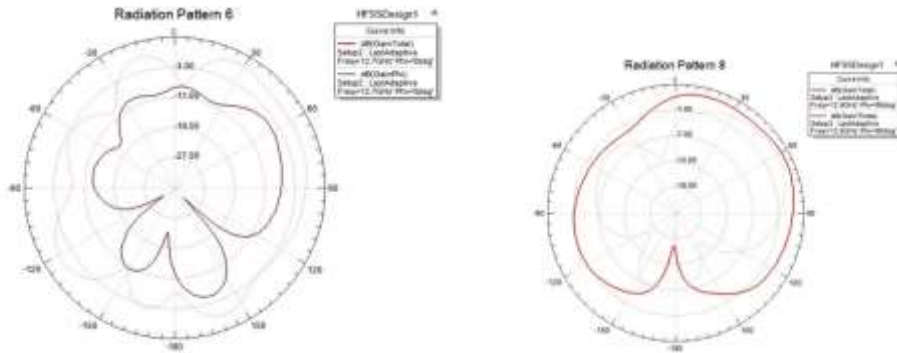
شکل ۱۲: پترن تشعشی در فرکانس 2-12 GHz



$\Phi = 0^\circ$  ,  $f_{erg} 12.7ghz$  ,  $\Phi = 90^\circ$  ,  $f_{erg} 18ghz$

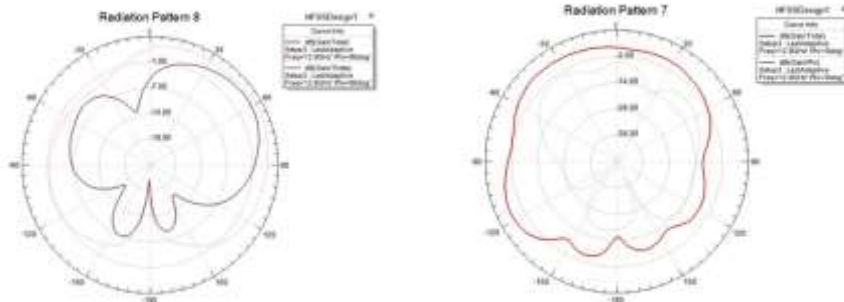


$\Phi = 90^\circ$  ,  $f_{erg} 12.7ghz$  ,  $\Phi = 0^\circ$  ,  $f_{erg} 13.7ghz$

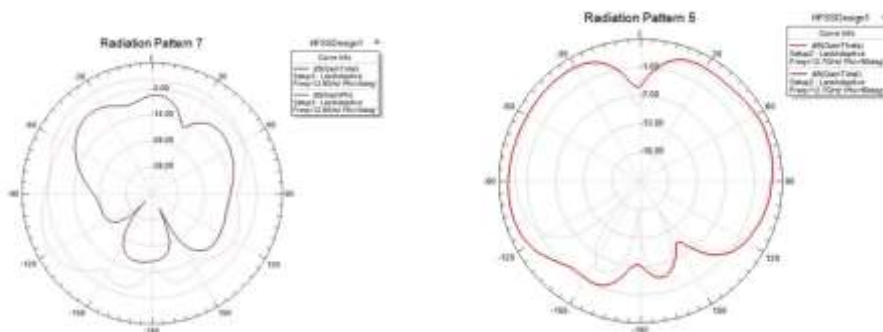


$\Phi = 90^\circ$  ,  $f_{erg} 12.9ghz$

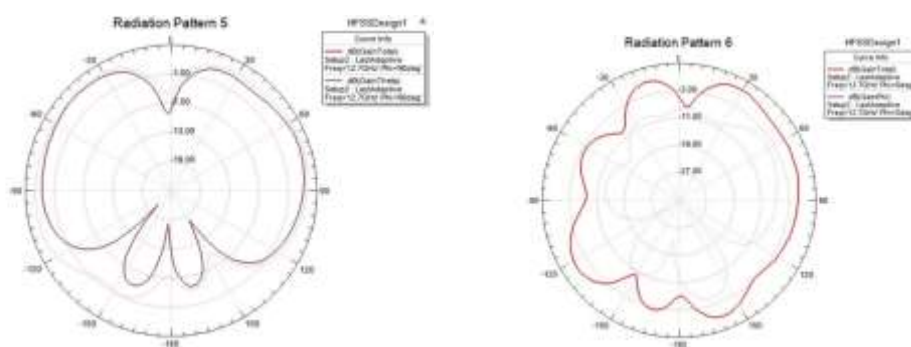
$\Phi = 0^\circ$  ,  $f_{erg} 12.7ghz$



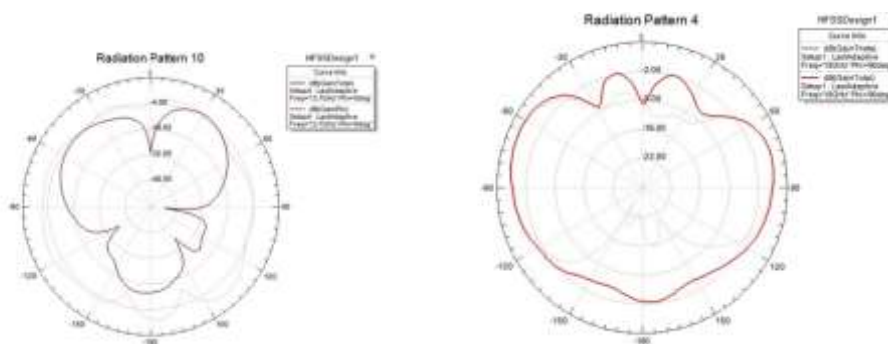
$\Phi = 90^\circ$  ,  $f_{erg} 12.9ghz$  ,  $\Phi = 90^\circ$  ,  $f_{erg} 12.9ghz$



$$t_{total} = \cdot , f_{erg} 12.9 \text{GHZ} \quad \text{Phi} = \cdot , f_{erg} 12.9 \text{GHZ}$$

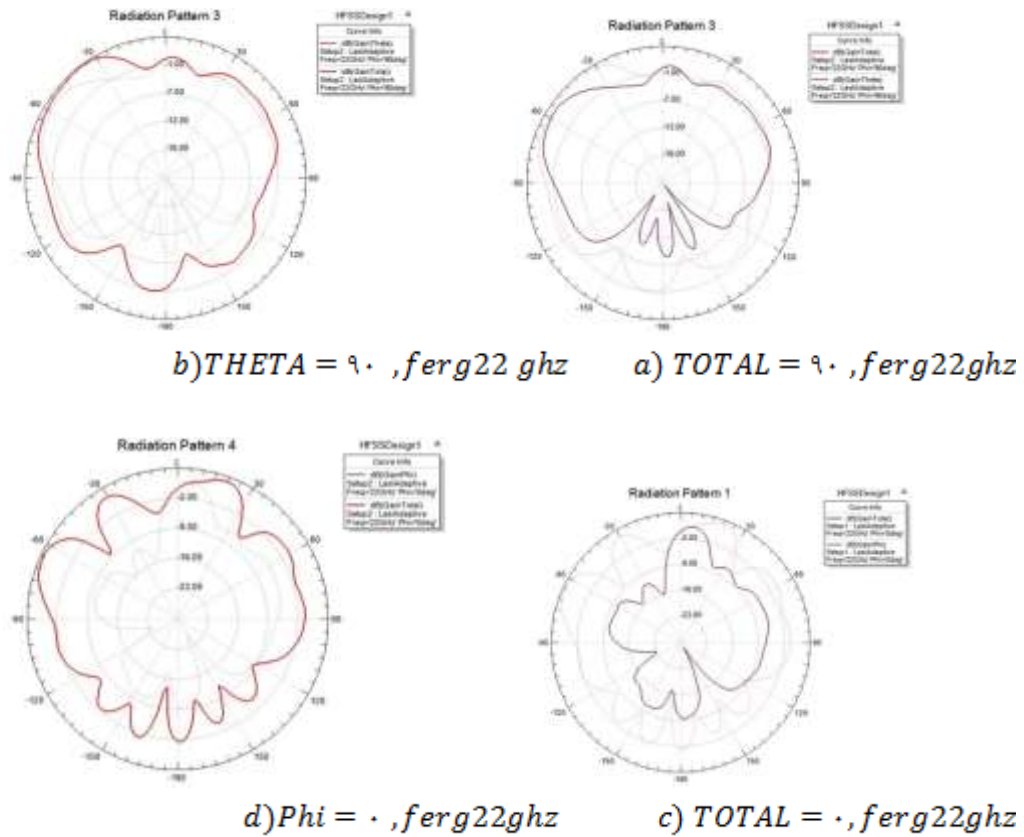


$$total = \cdot , f_{erg} 12 \text{GHZ} \quad \text{theta} = 90 , f_{erg} 12 \text{GHZ}$$



$$total = 90 , f_{erg} 18 \text{ghz} \quad \text{phi} = \cdot , f_{erg} 12.9 \text{ghz}$$

شکل ۱۳: پترن تشعشی در فرکانس رزونانس 12-18 GHz

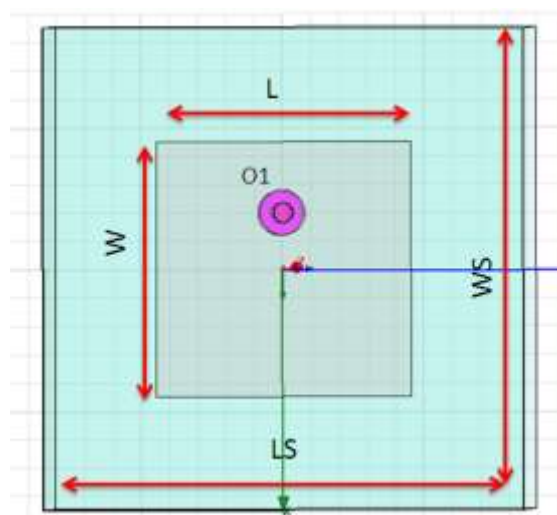


شکل ۱۴: پترن تشعشی در فرکانس رزونانس 18-22 GHz

#### طراحی و شبیه‌سازی آنتن مایکرو استریپ برای کاربرد ۱۲ تا ۱۸ گیگا هرتز

ابتدا یک آنتن میکرو استریپ در فرکانس رزونانس ۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز طراحی شده، برای تغذیه آنتن‌های فوق از روش تغذیه با کابل هم‌محور، پروب کوکسیال استفاده شده است و می‌توان با تغییر محل تغذیه مقاومت ورودی شدید کنترل شود. در صورتی که تغذیه در کنارها صورت گیرد مقاومت ورودی بیشترین مقدار و هنگامی که پیچ در مرکز خود تغذیه گردد کمترین مقدار را خواهد داشت. مزایای این روش عدم تشعشی ناشی از خط تغذیه و اشغال فضای کمتر می‌باشد. شکل (۷) رسم شماتیک ساختار را نشان می‌دهد.





شکل ۱۵: ساختار آنتن میکرواستریپ برای کاربرد k

### پارامترهای طراحی آنتن

پارامترهای اساسی در طراحی آنتن میکرواستریپ می‌توان به امپدانس ورودی، تلفات بازگشتی<sup>۶</sup>، حداکثر توان قابل تحمل<sup>۷</sup>، الگوی تابشی<sup>۸</sup>، پهنای بیم نیم توان<sup>۹</sup>، پلاریزاسیون اشاره کرد و ملزومات مورد نیاز برای طراحی آنتن به دو دسته ملزومات فیزیکی و تشعشی دسته‌بندی می‌شوند که به ترتیب صفح‌ای بودن آنتن و کوچک بودن ابعاد (حداکثر  $100 \text{ cm}^2$ )، گین بالا و خاصیت دوبانده از خصوصیات ملزومات فوق می‌باشد. پارامترهای طراحی آنتن فوق به صورت زیر می‌باشند:

- ابعاد آنتن

$$L_g = 2.4 \text{ cm} \quad W_g = 2.4 \text{ cm}$$

- مشخصات زیرلایه

$$\text{Rogers } \Delta 880 \cdot \tan(\theta) = 0.009 \quad \epsilon_r = 2.2 \quad h = 0.22 \text{ cm}$$

- ابعاد پچ تشعشع‌کننده

$$W = 1.8 \text{ cm} \quad L = 1.8 \text{ cm} \quad O_1 = (0.4, 0, 0)$$

### ۳-۴ طراحی و شبیه‌سازی آنتن میکرواستریپ

در آنتن‌های میکرواستریپ امواج سطحی روی سطح زیرلایه به وجود می‌آیند و باعث اتلاف توان ورودی می‌شوند و از طرفی دیگر این امواج سطحی به دلیل محدود بودن سطح زیرلایه آنتن از لبه‌ها پراکنده شده و باعث به وجود آمدن لوپ پشتی می‌شود -

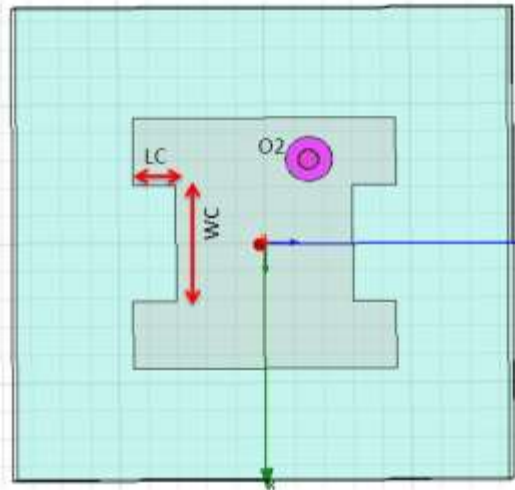
<sup>6</sup> Return loss

<sup>7</sup> Power Handing

<sup>8</sup> Pattern

<sup>9</sup> Half Power Beam width

شود [۱ و ۲] یکی از روش‌های بهبود عملکرد آنتن‌ها استفاده از ساختار فرکتالی و ایجاد شکاف روی پچ است که علاوه بر کوچک شدن ابعاد آنتن سبب بهبود پهنای باند و دوپانده کردن آنتن شده است. در این با تغییر طول بازوهای شکاف این قابلیت وجود دارد که نسبت فرکانس تشدید اول به فرکانس تشدید دوم را در محدوده نسبتاً وسیعی تنظیم کرد. شکل (۴-۲) رسم شماتیک ساختار آنتن کوچک شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶: ساختار آنتن کوچک شده

#### ۴-۳-۱ پارامترهای طراحی آنتن

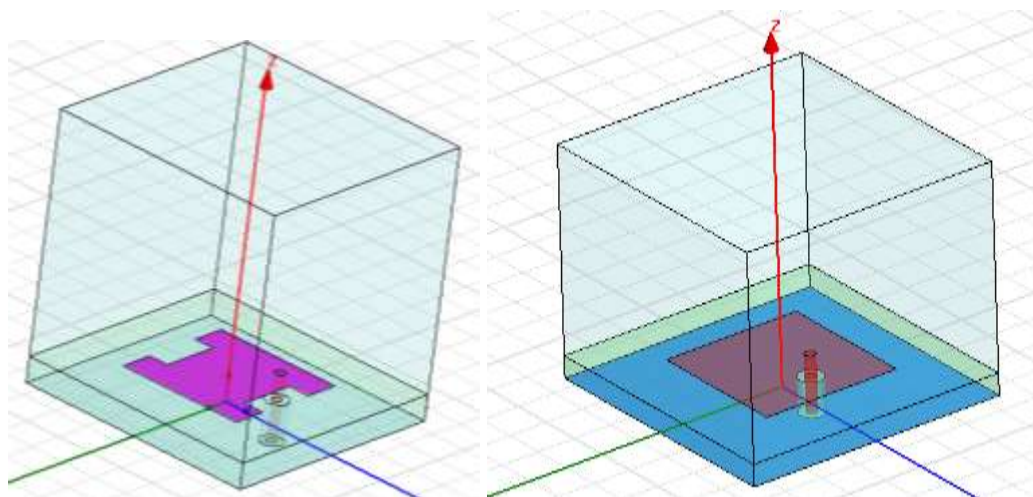
کلیه پارامترهای طراحی آنتن کوچک شده همانند آنتن اول می‌باشد فقط در دو طرف پچ دو شکاف با ابعاد  $O_1 = (0.4, 0, 0)$ ،  $L_c = 0.84 \text{ cm}$ ،  $W_c = 0.295 \text{ cm}$  ایجاد گردیده است که با تغییر طول بازوهای این شکاف می‌توان به محدوده وسیعی از نسبت فرکانس اول به فرکانس دوم دست یافت.

#### ۴-۳-۲ کاهش ابعاد آنتن

سطح اشغالی توسط پچ مربعی ساده:  $3/24$  سانتیمترمربع

سطح اشغالی توسط پچ مربعی کوچک شده:  $2/7444$  سانتیمتر مربع

کاهش سطح اشغالی:  $0/4956$  سانتیمترمربع



شکل ۱۷: ساختار دو آنتن (a) آنتن میکرواستریپ مربعی (b) آنتن میکرواستریپ مربعی کوچک شده

شکل ۱۷: ساختار دو آنتن

#### ۲-۳-۴ تحلیل آنتن

محاسبه تقریبی فرکانس‌های رزونانس آنتن میکرواستریپ کوچک شده به صورت زیر می‌باشد.

$$L_c = 0.84 \text{ cm}$$

$$W_c = 0.259 \text{ cm}$$

$$\epsilon_r = 2.2$$

$$L = 1.8 \text{ cm}$$

$$W = 1.8 \text{ cm}$$

$$h = 0.22 \text{ cm}$$

$$L_1 = W + 2Lc = 2.48 \text{ cm}$$

$$L_2 = 1.8 \text{ cm}$$

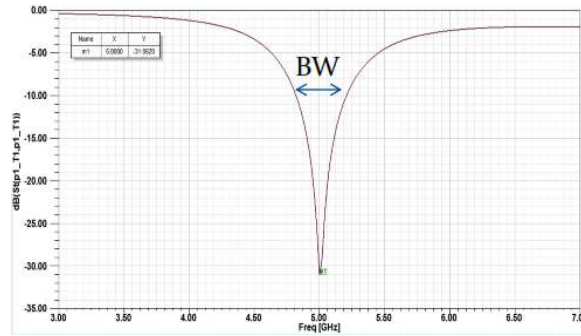
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{1 \cdot h}{W}\right)^{-0.555} \Rightarrow 1.94$$

$$f_1 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{eff}} L_1} \Rightarrow 2.09 \text{ GHz}$$

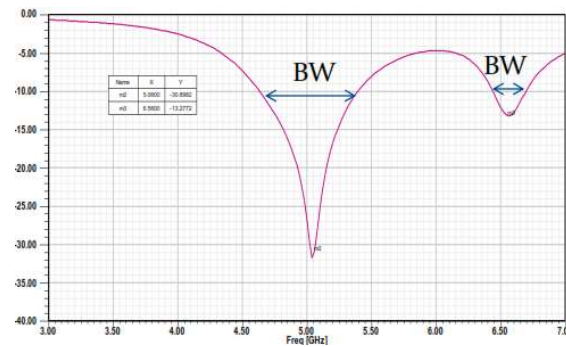
$$f_2 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{eff}} L_2} \Rightarrow 6 \text{ GHz}$$

آنالیز این دو آنتن توسط نرم‌افزار HFSS انجام شده است. این نرم‌افزار براساس روش عددی المان محدود پارامترهای S و پترن تشعشعی میدان را به صورت تمام موج برای ساختارهای پسیو سه بعدی پیدا می‌کند. ابتدا توان برگشتی آنتن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نمودار توان برگشتی ( $S_{11}$ ) هر دو آنتن مربعی و کوچک شده در شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) آمده است.

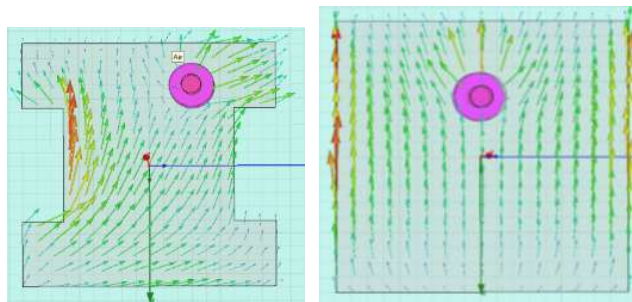
تلفات بازگشتی برای آنتن مایکرواستریپ مربعی با فرکانس مرکزی  $k$  دارای پهنای باند امپدانس  $400\text{ MHz}$  می‌باشد. حال با ایجاد شکاف در این آنتن، آنتن مربعی کوچک شده در باند اول با فرکانس مرکزی  $GHZ$   $K+\epsilon$  دارای پهنای باند امپدانس  $760\text{ MHz}$  می‌باشد و در باند دوم با فرکانس مرکزی  $56.56$  دارای پهنای باند امپدانس  $260\text{ MHz}$  است که مزیت اصلی این ساختار افزایش تقریباً دوبرابر پهنای باند امپدانس می‌باشد.



شکل ۱۸: تلفات بازگشتی برای آنتن مایکرواستریپ مربعی

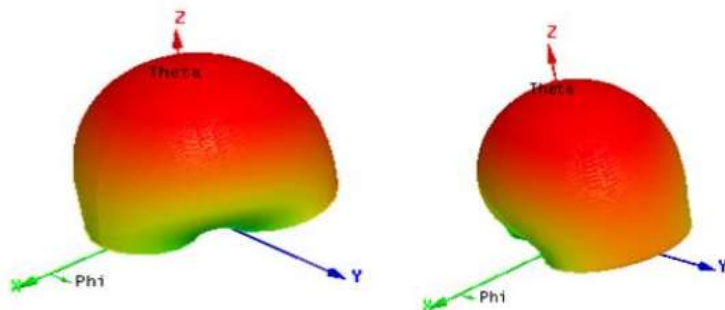


شکل ۱۹: تلفات بازگشتی آنتن مایکرواستریپ کوچک شده



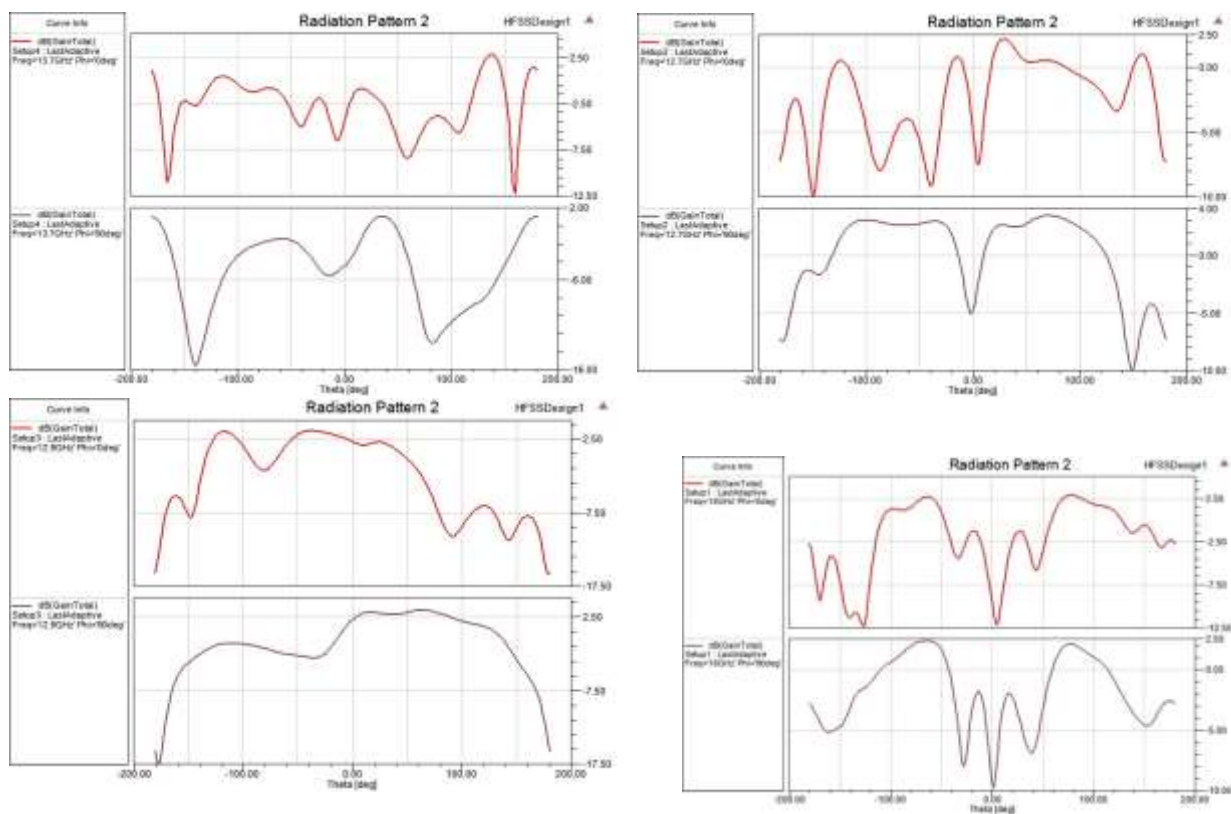
(a) آنتن مایکرواستریپ (b) آنتن مایکرواستریپ کوچک شده

شکل ۲۰: توزیع جریان‌ها

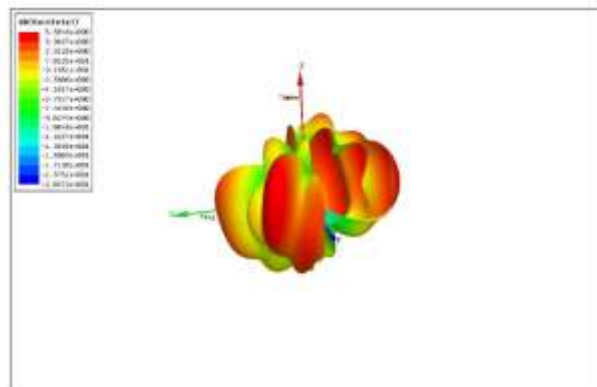
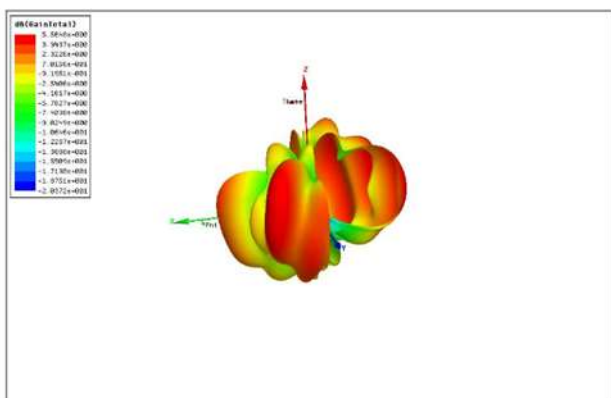
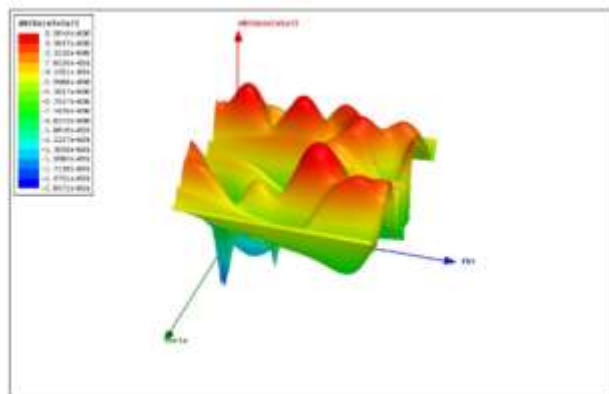
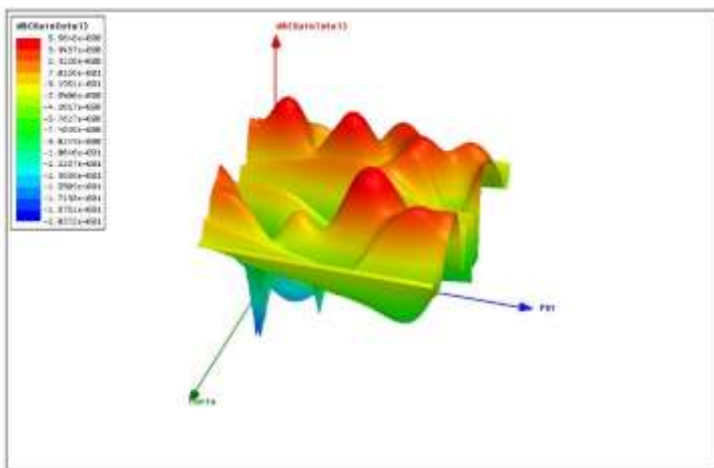
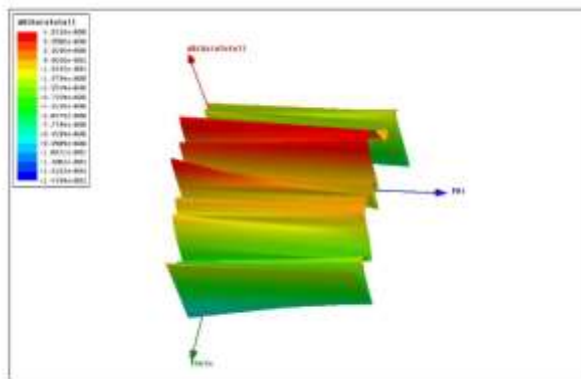
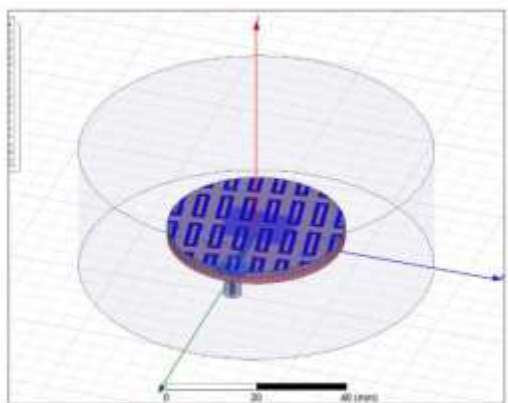


(a) بهره آنتن ساده (b) بهره آنتن کوچک شده

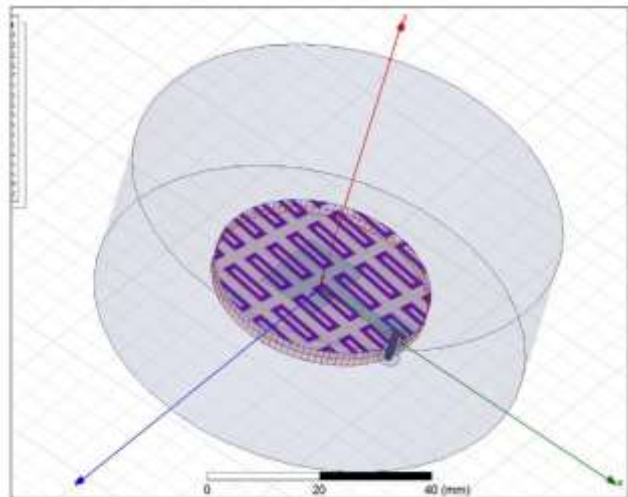
شکل ۲۱: بهره آنتن‌ها



شکل ۲۲



شکل ۲۳



شکل ۲۴

### نتیجه گیری

در این پژوهش ضمن معرفی هندسه فرکتالی و خواص آن، با ساختارهای فرکتالی بهبود یافته کوچک شده شامل: آنتن‌های حلقوی، دوقطبی، سه بعدی درختی، سه بعدی هیلبرت و آنتن‌های میکرواستریپ آشنا شدیم. اولین ساختاری که در این پروژه طراحی و شبیه‌سازی شده است یک آنتن میکرواستریپ مربعی با فرکانس رزونانس  $12.1 \text{ GHz}$  تا  $12.1 \text{ GHz}$  تامی باشد که این آنتن در اینجا به عنوان معیار برای آنتن پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم تغذیه انتخابی در آنتن فرکتال پیشنهادی از نوع پروب کوکسیال می‌باشد از جمله مزیت‌های اصلی این انتخاب عدم افت تشعشعی ناشی از خط تغذیه و اشغال فضای کمتر می‌باشد. بر طبق نتایج شبیه‌سازی به دست آمده برای دو آنتن میکرواستریپ مربعی و آنتن کوچک شده، تلفات بازگشتی برای آنتن مربعی با فرکانس مرکزی  $k$  دارای پهنای باند امپدانس  $400 \text{ GHz}$  می‌باشد که از جمله مزیت اصلی این ساختار افزایش تقریباً دوبرابر پهنای باند امپدانس می‌باشد که ایده اصلی در طراحی آنتن فوق استفاده از دو شکاف بر روی پچ تشعشعی بوده است. نکته قابل توجه در آنتن طراحی شده سیستم تغذیه ساده و ابعاد کوچک، از طرف دیگر قابلیت تنظیم محدود نسبتاً وسیع نسبت فرکانس تشدید اول به فرکانس تشدید دوم در این آنتن می‌باشد و این ساختار در مقایسه با ساختارهای دیگر این امکان را دارد تا بتواند به منظور پوشش سایر باندها بر کاربردهای دیگر نیز استفاده شود. در این مقاله یک ساختار متقارن برای آنتن پچ میکرواستریپی که در باند های فرکانسی  $k$  و  $KU$  کار می کند ارائه شده است. نتایج شبیه سازی برای تلفات بازگشتی، امپدانس ورودی و پترن تشعشعی نشان دهنده ی عملکرد خوب این آنتن در باند های فرکانس رادیویی (RF) می باشند. این آنتن برای استفاده در کار های مخابراتی آینده بسیار کار آمد است. زیرا بسیاری از باند های فرکانسی را پوشش می دهد. از این رو مخابرات آینده صرفاً از فرکانس های بالاتر (بالا) استفاده خواهد کرد.

### پیشنهادات

- استفاده از آنتن فرکتال کوچک شده در تکرارهای با درجه بیشتر از دو به منظور طراحی آنتن سه بانده و بیشتر
- قابلیت تنظیم نسبت فرکانس تشدید در باندها با تغییر طول بازوهای شکافها

## مراجع

- [1] Yee , K. S. , “Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell ’s equations in isotropic media ,”IEEE Trans. Antennas Propagat. , Vol. AP- 14, No. 3, 302–307,1966.
- [2] Mur , G. , "Absorbing Boundary Conditions for the Finite Difference Approximation of the Time Domain Electromagnetic Field Equation" , IEEE Trans. on Antennas and Propagation , EMC-23, pp. 377-382 , 1981.
- [3] Berenger , J. P. , "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves" , J. Computational Physics , Vol 114 , pp. 185-200 , 1994.
- [4] B. Schneider John, Computational Electrodynamics: Understanding the Finite-Difference Time-Domai Method, Artech House, Inc. , April 5, 2016
- [5] Horwath Ben, Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Inc. , 2001.
- [6] D. Sullivan and J. L. Young. Far-field time-domain calculation from aperture radiators using the FDTD method. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 49(3):464–469, March 2001.
- [7] S. Dey and R. Mittra. A locally conformal finite-difference time-domain (FDTD) algorithm for modeling three-dimensional perfectly conducting objects. IEEE Microwave Guided Wave Letters, 7(9):273–275, September 1997.
- [8] S. Benkler, N. Chavannes, and N. Kuster. A new 3-D conformal PEC FDTD scheme with userdefined geometric precision and derived stability criterion. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 54(6):1843–1849, June 2006.
- [9] C. A. Balanis. Advanced Engineering Electromagnetics. JohnWiley & Sons, New York, 1989.
- [10] X. Li, A. Taflove, and V. Backman. Modified FDTD near-to-far-field transformation for improved backscattering calculation of strongly forward-scattering objects. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 4:35–38, 2005.
- [11] A. Taflove and S. Hagness. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time- Domain Method, 3 ed. Artech House, Boston, MA, 2005.
- [12] A. Ishimaru. Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- [13] Fernandes, H. C. C. and A. R. B. da Rocha, “Analysis of antennas with PBG substrate”, Int. J. Infrared and Millimeter Waves, Vol. 24, No. 7, 1171-1176, 2003.
- [14] Gonzalo R, Demaagt P, Mario S. “Enhanced patch antenna performance by suppressing surface wave using photonic crystal substrates”, IEEE Trains Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 11,2131–2138, 1999.
- [15] Ho, K. M. , C. T. Chan, and C. M. Soukoulish, “Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures”, Phys. Rev. Lett. , Vol. 65, 3152-3155, 1990.
- [16] Agi, K. and J. Malloy, “Integration of a microstrip patch antenna with a two dimensional photonic crystal substrate”, Electromagnetics, Vol. 19, 277-290, 1999.



- [17] James J R, Henderson A, "High-frequency behavior of microstrip open-circuit terminations. Microwave", Optics and Acoustics, Vol. 3, No. 5, 205-218, 1979.
- [18] J D Joannapoulos, R D Meade and J N Winn, "Photonic crystals: Molding the flow of light", Princeton University Press, New Jersey 08540, 1995.
- [19] Zhang, Z . and S. Satpathy, "Electromagnetic wave propagation in periodic structures: Bloch wave solution of Maxwell equations", Physical Rev. Lett. , Vol. 65, 2650-2653, 1990.
- [20] YEE, K. "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", IEEE Trans. Antennas Propag. , vol. 14, no. 3, 302-307, 1966.
- [21] Ma S L, Row J S. "Design of single-feed dual-frequency patch antenna for GPS and WLAN applications". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 9, 3433-3436, 2011.
- [22] Singh V K, "Ka-band micro machined microstrip patch antenna". IET Microwaves Antennas & Propagation, Vol. 4, No. 3, 316-323, 2010.
- [23] Sharma, A. and G. Singh, "Rectangular microstrip patch antenna design at THz frequency for communication systems", Int. J. Infrared and Millimeter Waves, (under review), Dec. 2007.
- [24] Ozbay, E. , B. Temelkuran, and M. Bayindir, "Microwave applications of photonic crystals", Progress In Electromagnetics Research, PIER 41, 185-209, 2003.
- [25] Yang, H. Y. D. , N. G. Alexopoulos, and E. Yablonovitch, "Photonic band gap materials for high gain printed circuit antennas", IEEE Trans. Antenna and Propagation, Vol. 45, 185-187, 1997.
- [26] Meade, R. D. , K. D. Brommer, A. M. Rappe, and J. D. Joannopoulos, "Photonic band states in periodic dielectric materials", Phys. Rev. B: Condensed Matter, Vol. 44, 13772-13774, 1991.
- [27] Coccioli, R. , W. R. Deal, and T. Itoh, "Radiation characteristics of a patch antenna on a thin PBG substrate", IEEE Trans. Antennas Propag. , Vol. 45, 656-659, 1998.
- [28] Gonzalo, R. and B. Martinez, "The effect of dielectric permittivity on the properties of photonic band gap devices", Microwave and Optical Technology Lett. , Vol. 23, No. 2, 92-95, 1999.
- [29] Radisic, V. , Y. X. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2D photonic bandgap structure for microstrip antenna", IEEE Microwave and Guided Wave Lett. , Vol. 8, 69-71, 1998.